

REVIEW METODE PEMODELAN ELEKTRODA PENTANAHAN

Inaya Retno Putri^{1*}, T. Haryono², Eka Firmansyah³

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281

*Email: nayaputrie@gmail.com

Abstrak

Sistem pentanahan merupakan salah satu bagian sistem proteksi. Kinerja sistem pentanahan dipengaruhi oleh ketepatan fungsi elektroda pentanahan, karena elektroda pentanahan merupakan komponen utama dalam sistem pentanahan. Untuk mengetahui kinerja yang baik dari sistem pentanahan diperlukan pemodelan elektroda menggunakan pendekatan analitis dan teknik simulasi numeris. Dalam paper ini akan disampaikan review dari metode yang digunakan untuk memodelkan elektroda pentanahan, sehingga bermanfaat untuk proteksi sistem. Hasil review menunjukkan bahwa metode yang paling cocok untuk pemodelan elektroda pentanahan adalah finite element modelling.

Kata kunci: elektroda pentanahan, sistem pentanahan, sistem proteksi

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan energi yang sangat berpengaruh dalam kehidupan manusia. Selain bermanfaat bagi kehidupan manusia, tenaga listrik juga dapat membahayakan jika tidak memiliki instalasi dan pengamanan yang sesuai standar. Salah satu cara untuk menanggulangi bahaya dalam instalasi tenaga listrik yaitu menggunakan sistem pentanahan (*grounding system*). Sistem pentanahan merupakan salah satu elemen kunci dalam perlindungan keamanan manusia dan berbagai macam instalasi (Ghoneim dkk., 2006) (Ghoneim dkk., 2006) (Gazzana dkk., 2014) (Anggoro, 2012) (Wu dkk., 2014). Tujuan utama sistem pentanahan adalah memberikan bantuan deteksi cepat dan meminimalkan tegangan dan tekanan termal pada peralatan serta memberikan keamanan dan mengurangi gangguan sistem (Somani dkk., 2005).

Apabila terjadi gangguan hubung singkat, arus gangguan mengalir melalui peralatan-peralatan yang terbuat dari bahan metal dan mengalir juga ke tanah di sekitar lokasi gangguan, akibatnya timbul gradien tegangan antar peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah, dan antara permukaan tanah itu sendiri. Besar gradien tegangan tergantung dari jenis tanah dan tahanan jenis tanah. Oleh karena itu, untuk membatasi gradien tegangan digunakan elektroda pentanahan.

Kinerja sistem pentanahan secara lengkap berhubungan dengan variabel yang mempengaruhinya. Kinerja dari sistem pentanahan dipengaruhi oleh ketepatan fungsi dari elektroda pentanahan, karena elektroda pentanahan merupakan komponen utama dalam sistem pentanahan. Oleh karena itu, diperlukan teknik simulasi numeris untuk memodelkan elektroda pentanahan. Sehingga dapat mendukung sistem pentanahan yang baik. Paper ini mereview penelitian-penelitian yang telah dilakukan dalam memodelkan elektroda pentanahan menggunakan beberapa metode.

2. METODOLOGI

Elektroda pentanahan merupakan penghantar yang ditanam dalam bumi dan sebagai kontak langsung dengan tanah yang diusahakan hingga mencapai titik air tanah. Instalasi elektroda pentanahan untuk peralatan listrik dan sistem diperlukan untuk memproteksi orang dan peralatan, dan untuk menstabilkan sistem (Armstrong, 1953). Peran dari elektroda pentanahan adalah untuk mengalirkan kegagalan arus dan petir secara efektif ke dalam tanah dan dengan ini untuk mengurangi bahaya dari instalasi sistem telekomunikasi dan sistem tenaga listrik (Otani dkk., 2014). Arus pada elektroda dapat menuju ke bumi tanpa kerusakan padatan tanah yang ditentukan dari hubungan kompleks antara kepadatan arus di sekitar elektroda, suhu yang diijinkan, waktu, dan karakteristik tanah (Armstrong, 1953). Nilai tahanan elektroda pentanahan dipengaruhi oleh kedalaman elektroda, besar penampang elektroda dan jenis tanah. Kinerja elektroda pentanahan sangat dipengaruhi oleh parameter tanah sebagai resistivitas listrik, panas, konduktivitas termal dan permeabilitas tanah. Elektroda pentanahan juga memiliki induktansi meskipun dirancang

dengan baik untuk konduktivitas tanah yang tinggi, mungkin muncul resistif hingga beberapa MHz, jika diukur pada elektroda itu sendiri (Annstrong, 2000).

Ukuran diameter dari elektroda memainkan peran penting dalam resistans pentanahan. Elektroda pentanahan dengan diameter yang lebih besar memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah (Ahmad dkk., 2014). Baja dan tembaga merupakan bahan yang biasa digunakan sebagai material elektroda pentanahan (Lim dkk., 2013). Batang tembaga merupakan konduktor pentanahan yang paling tepat karena memiliki level konduktivitas yang tinggi dan level permeabilitas yang rendah, sehingga lebih mudah untuk membuang arus ke bumi ketika ada gangguan. Jika dibandingkan dengan tembaga, baja memiliki harga yang lebih murah, permeabilitas yang lebih tinggi dan konduktivitas yang rendah, juga mudah terkena korosi. Selain material yang digunakan untuk elektroda, karakteristik jenis tanah juga mempengaruhi nilai tahanan elektroda. Tanah biasanya terdiri dari jenis yang berbeda dengan berbagai karakteristik (Campoccia dkk., 2007). Setiap lapisan tanah umumnya menawarkan resistivitas arus bumi dan nilainya berbeda-beda di setiap lapisan tanah. Parameter yang dapat merepresentasikan karakteristik tanah adalah tahanan jenis tanah ρ (Ω -m). Tahanan jenis tanah berkaitan dengan kandungan air dan suhu, karena tahanan jenis tanah dapat berubah sesuai dengan perubahan iklim. Jika elektroda ditanam dalam kondisi tanah saat musim hujan maka tahanan pentanahannya rendah. Namun, jika elektroda ditanam di saat musim kemarau maka tahanan pentanahannya akan menjadi tinggi. Tabel 1 menunjukkan nilai untuk jenis tanah yang berbeda-beda menurut standar internasional (IEEE Std 80-2000).

Tabel 1. Resistans Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Resistivitas Rata-Rata (Ω -m)
1.	Tanah Organik Basah	10
2.	Tanah Lembab	100
3.	Tanah Kering	1000
4.	Batuan	10000

2.1. Pendekatan Pemodelan

Ada 3 pendekatan pemodelan yang populer, yaitu (Grcev, 2009):

1. Pendekatan Rangkaian

Dalam kasus frekuensi rendah, analisis statis biasanya diterapkan, yang mengarah ke rumus:

- Untuk elektroda vertikal

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \left(\frac{4l}{\alpha} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

- Untuk elektroda horizontal

$$R = \frac{\rho}{\pi l} \left[\ln \left(\frac{2l}{\sqrt{2ad}} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

Dimana :

ρ = Resistivitas (Ω -m)

l = Panjang elektroda pentanahan (m)

α = Radius (m)

d = Kedalaman penanaman elektroda (m)

2. Pendekatan *Transmission Line* (Saluran Transmisi)

Model pendekatan *transmission line* yang paling populer adalah perpanjangan model sirkuit. Penentuan panjang per unit ditentukan sebagai:

$$R' = \frac{1}{G'} = Rl \text{ (Ω -m)} \quad (3)$$

$$C'' = \frac{C}{l} \text{ (F/m)} \quad (4)$$

$$L' = \frac{L}{l} \text{ (H/m)} \quad (5)$$

3. Pendekatan Elektromagnetik

Pendekatan elektromagnetik yang paling populer berdasarkan teori antenna dan *method of moments* (Greev dan Dawalibi, 1990). Persamaan bidang elektromagnetik berdasarkan:

$$[Z] [I] = I_s [Z'] \quad (6)$$

2.2. Metode Pemodelan Elektroda Pentanahan

Pendekatan analitis dan teknik simulasi numeris telah dikembangkan untuk menganalisis elektroda pentanahan dan untuk desain sistem pentanahan dari sistem tenaga listrik (Clark dkk., 2014). Pemodelan untuk elektroda pentanahan telah dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya:

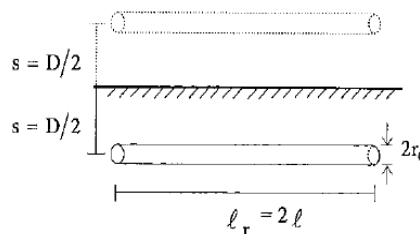
1. *Finite Difference Transmission Line*
2. *Finite Element Modelling (FEM)*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pemodelan elektroda pentanahan telah dilakukan dengan hasil sebagai berikut:

1. Metode *Finite Difference Transmission Line*

Finite difference transmission line merupakan sebuah metode dengan algoritma yang mampu merepresentasikan perilaku keseimbangan distribusi non linear, dikarenakan fenomena ionisasi tanah dan memiliki keuntungan memungkinkan investigasi tegangan dan arus sepanjang elektroda (Almeida, 1999). Gambar 1 merupakan geometri elektroda seimbang yang diaplikasikan dengan metode *finite difference transmission line*.



Gambar 1. Geometri Elektroda Seimbang (Almeida, 1999)

Persamaan resistans elektroda pentanahan yang seimbang:

$$R = \frac{\rho_o}{\pi l r} \left(\ln \left(\frac{2l r}{\sqrt{2} r_o s} \right) - 1 \right) \quad (7)$$

Dalam model ini, elektroda dipertimbangkan sebagai konduktor sempurna, panjang resistans membujur $R' = 0$.

2. *Finite Element Modelling (FEM)*

Finite element modelling merupakan teknik simulasi untuk memodelkan fisik suatu benda atau mendefinisikan sifat-sifat material. FEM merupakan metode untuk pemodelan geometri elektroda yang efisien dan lingkup tanah yang berbeda-beda. Maka dari itu, FEM digunakan untuk merepresentasikan sistem pentanahan dan menunjukkan perhitungan geometri yang lengkap dan pertimbangan tepat dari karakteristik bahan (Lourentzou dkk., 1999). Ide dasar FEM adalah membagi struktur atau daerah yang dianalisa menjadi jumlah yang sangat besar dari suatu elemen hingga (*finite element*). Elemen adalah kumpulan titik (nodal) yang saling terhubung. Sedangkan kumpulan nodal dan elemen didefinisikan sebagai *mesh*.

Elektroda pentanahan untuk HVDC (*High Voltage Direct Current*) dimodelkan dengan menggunakan FEM (Georges dan Mikhael, 2014). Kenaikan temperatur elektroda pentanahan di sekitar tanah dari konversi listrik menjadi energi thermal, direpresentasikan dengan:

$$g = \rho J^2 (8)$$

dimana :

g = Panas yang dibangkitkan, W/m^3

ρ = Resistivitas tanah, $\Omega\cdot m$

J = Kerapatan arus, A/m^2

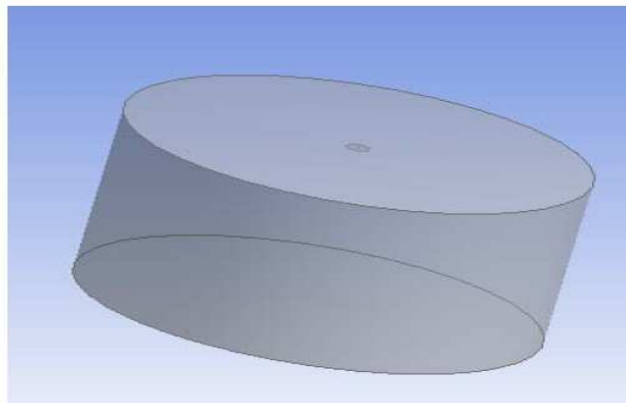
Distribusi temperatur dibangkitkan dengan persamaan:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + g = 0 (9)$$

Dalam keadaan *steady state*, persamaan 9 menjadi :

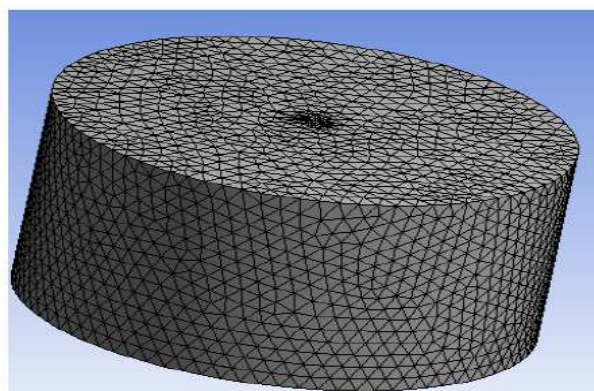
$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + g = 0 (10)$$

Diasumsikan bahwa elektroda ditanam dalam tanah dengan bentuk silinder radius 1 m dan tinggi 1 m seperti ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Elektroda dalam bentuk silinder (Georges dan Mikhael, 2014)

Gambar 3 di bawah ini menunjukkan *mesh* elektroda menggunakan metode *finite element*.



Gambar 3. Mesh hasil simulasi dari elektroda (Georges dan Mikhael, 2014)

Dalam mendesain elektroda pentanahan HVDC, disipasi panas di elektroda dan tanah sekitar merupakan parameter penting karena memberi efek resistivitas tanah lebih besar yang merupakan parameter penting dalam mendesain sistem pentanahan.

4. KESIMPULAN

Paper ini mereview metode yang digunakan untuk memodelkan elektroda pentanahan. Metode yang sering digunakan untuk memodelkan elektroda pentanahan adalah *time difference transmission line* dan *finite element modelling* (FEM). *Finite difference transmission line* merupakan sebuah metode dengan algoritma yang mampu merepresentasikan perilaku keseimbangan distribusi non linear, dikarenakan fenomena ionisasi tanah dan memiliki keuntungan memungkinkan investigasi tegangan dan arus sepanjang elektroda. Sedangkan finite element merupakan teknik simulasi numeris, baik digunakan untuk pemodelan yang efisien dari suatu geometri elektroda. Metode finite element telah digunakan sebagai metode numeris terbaik untuk menghitung sistem pentanahan (Bashir dan Sadeh, 2012) dan juga memodelkan semua jenis sistem pentanahan, tidak seperti model komputasi lain yang hanya berdasar metode analitis (Cardoso, 1994).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. et al., 2014. A Case Study on Ground Resistance Based on Copper Electrode vs . Galvanized Iron Electrode., pp.406–410.
- Almeida, M.E., 1999. Modelling of long ground electrodes for lightning studies., (467), pp.267–271.
- Anggoro, B., 2012. The concept of grounding impedance diagnostics method., (September), pp.1013–1017.
- Annstrong, K., 2000. EARTH ? WHAT EARTH ?, pp.1–8.
- Armstrong, H.R., 1953. Grounding Electrode Characteristics from Model Tests., pp.1301–1306.
- Bashir, M. & Sadeh, J., 2012. Effect of Increasing the Grounding Grid Resistance of a Ground System at a Substation on the Safety and Transient Overvoltage on the Interior Equipments., pp.1–6.
- Campoccia, A., Sanseverino, E.R. & Zizzo, G., 2007. Earthing System ' s Design in Presence of Non-uniform Soil., pp.1–6.
- Cardoso, J.R., 1994. FEM Modelling of Grounded Systems with Unbounded Approach., 30(5), pp.2893–2896.
- Clark, D. et al., 2014. Controlled Large-Scale Tests of Practical Grounding Electrodes — Part II : Comparison of Analytical and Numerical Predictions With Experimental Results., 29(3), pp.1240–1248.
- Gazzana, D.S. et al., 2014. A study of human safety against lightning considering the grounding system and the evaluation of the associated parameters. *Electric Power Systems Research*, 113, pp.88–94.
- Georges, S. & Mikhael, Z., 2014. Modelling and Simulation of Heat Dissipation due to HVDC Ground Electrodes Using the Finite Element Method., (4), pp.476–480.
- Ghoneim, S., Hirsch, H., Elmorshedy, A., et al., 2006. Surface Potential Calculation for Grounding Grids., pp.501–505.
- Ghoneim, S., Hirsch, H. & Elmorshedy, A., 2006. Effect of Profile Location on Step and Touch Voltages of Grounding Grids., pp.228–233.
- Greev, L., 2009. Modeling of Grounding Electrodes Under Lightning Currents., 51(3), pp.559–571.
- Greev, L. & Dawalibi, F., 1990. An Electromagnetic Model For Transients in Grounding Systems., 5(4).
- IEEE Std 80-2000, *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*,
- Lim, S.C. et al., 2013. Electrical Power and Energy Systems Electrical earthing in troubled environment. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 47, pp.117–128.
- Lourentzou, M.I., Kladas, A.G., 1999. Finite Element Modelling of Grounding Systems Considering Electrode Geometry Effects. , 35(3), pp.5–8.
- Otani, K. et al., 2014. FDTD surge analysis of grounding electrodes considering soil ionization. *Electric Power Systems Research*, 113, pp.171–179.

- Somani, A. et al., 2005. Evaluation Of Grounding And Protection Methods For A Shipboard Power System. , pp.117–124.
- Wu, J. et al., 2014. Optimal design of tower footing device with combined vertical and horizontal grounding electrodes under lightning. *Electric Power Systems Research*, 113, pp.188–195.